

超高层高劲性混凝土施工技术应用

李继荣

北京天恒建设集团有限公司

摘要：结合人大附中北京经济技术开发区实验学校项目重点分析了劲性混凝土结构施工过程中的特点及混凝土浇筑过程中遇到的难点，详细介绍了劲性混凝土结构施工过程中采取的施工工艺流程及注意事项，采用工字钢支撑件沿跨度方向等距间断性布设于梁底模板上直接支撑型钢梁底代替传统的横担支撑，巧妙的解决了大跨度型钢梁挠度控制的难题，并克服了传统横担支撑件浇筑在梁里而后截取影响结构质量的难题。通过本工程实践，验证了该工艺的科学性、合理性、经济性和可操作性，取得了不错的效果。

关键词：劲性混凝土；工字钢支撑件；大跨度；挠度控制

绪论：劲性混凝土结构作为一种新型的组合结构，融合了混凝土和钢材的优点，具有承载力高、施工方便等优点，在国内高层公共建筑施工中广泛应用，近年来随着社会和经济的飞速发展，建筑外形设计越来越新颖独特，随之结构形式也越来越复杂，越来越不规则，施工难度越来越大。在劲性混凝土结构施工过程中，混凝土的时间依存特性、水平构件压应力的差异、施工加载顺序以及施工过程中型钢构件长度的调整会导致水平构件不同的挠曲变形。其差值会给建筑施工质量的控制带来困难，影响设备、装饰的安装和使用。竖向变形差异还会在相邻构件及非结构构件中产生附加应力，降低结构的安全储备。而目前没有一套成熟的施工工艺。

本文以人大附中项目为例，根据实际施工方案和工期对劲性混凝土结构施工进行了初步探讨。

一、工程概况

人大附中北京经济技术开发区实验学校项目是开发区完善基础教育设施，提升教育教学质量，引入名校办学的典范；是补齐民生短板，惠及一方百姓的重大民生工程，更是开发区党委和政府顺应人名对美好生活的期待与向往而做出的重大基础设施建设项目。

项目由综合教学楼、艺术楼、综合体育馆及学生中心等24个单体组成，总建筑面积149697.8m²，有框架剪力墙结构、钢结构、混凝土装配式结构三种结构形式。地上1-8层，地下2层，最大檐高23米。工程总投资11.2亿元。2019年8月16日开工，2021年6月30日竣工。

其中综合体育馆结构形式为劲性钢结构，包含28根钢骨柱、14道劲性钢结构梁，梁跨度为36.8m，梁截面尺寸为700×1800mm，其中型钢梁尺寸为H1500*500*18*35mm，梁下净空最高处约为8.5m。顶板模板在冰球馆处最高净空为9.92m，范围约为38.6m×64.25m，楼板厚度为180mm，普通配筋楼板。



综合体育馆—冰球馆效果图

二、施工难点

(一) 型钢梁构件周围钢筋密集度高，型钢梁翼缘板与侧模板间隙小，混凝土不便振捣，而且混凝土和钢材的材料性能差异较大，收缩变形不一致，混凝土必须具有自密实性能、膨胀性能。

(二) 劲性钢结构梁一般施工工艺为：楼层控制线及轴线放设完成后，木工搭设支撑体系和铺设梁底模板，梁底模板标高及轴线调校完成后吊装型钢梁，连接劲性钢柱与钢梁端部耳板的高强螺栓，紧固合格后进行框架梁钢筋绑扎、梁侧合模、混凝土浇筑，在此过程中需对钢梁进行临时支撑，一般采用钢管架在钢梁底部支撑，但钢结构梁跨度达36.8m，易出现挠度过大等问题。传统支撑钢管架顶托钢梁，造成横担钢管被浇筑在混凝土里而后截取影响结构梁实体及观感质量。

三、关键技术研究

(一) 混凝土及浇筑方式的确定

经过以上分析，本工程型钢梁构件周围钢筋密集度高，型钢梁翼缘板与侧模板间隙小，而且600*1800mm的截面高度混凝土振捣时的密实度得不到保障，因此为保证混凝土的密实度决定采用《建筑业10项新技术(2010)》中2.3条款的自密实混凝土技术，而自密实混凝土特别适合于浇筑量大、浇筑高度大、钢筋密集、形状复杂等无法浇筑或浇筑难度大的特点，恰恰能应用于我们的在施工程。

(二) 型钢梁支护方式的确定

钢结构梁跨度达36.8m，依据标准：《型钢混凝土组合结构技术规程》JGJ138-2001的要求型钢梁挠度 $\leq L/400$ (66mm)且 $\leq 33mm$ (150-88-20-53+44=33mm)。

根据原有型钢梁支护方案(注：支护措施为间距5m布置双立柱杆及型钢梁底与型钢混凝土梁底面150mm的空隙加设横、纵杆支撑型钢梁底)。对一根型钢梁吊装调校完毕并采取支撑措施后进行为期3天的挠度监测，监测点设置在梁中点，其测点图及监测数据如下。

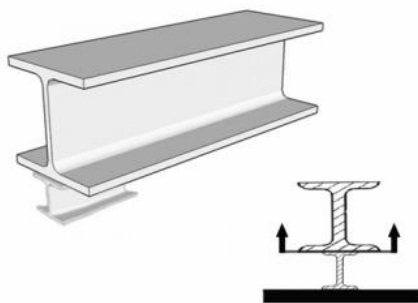
型钢梁下挠数据记录表 (mm)

时间 B点	第一天			第二天			第三天		
	9: 00	13: 00	17: 00	9: 00	13: 00	17: 00	9: 00	13: 00	17: 00
观测值	6	11	14	18	20	22	26	28	29

通过监测数据可知，型钢梁安装后3天时间下挠29mm，而且仍有继续变形趋势，支撑横杆弯曲，支护措施不力，因此决定采用工字钢布设于梁底模板上，直接支撑型钢梁底的施工方案。在梁底模板上布设一定数量的工字钢支撑件做为钢梁施工支撑，将钢梁自重产生的荷载传递到模板支架，利用工字钢支撑件控制型钢梁挠度及钢筋保护层厚度，然后进行钢筋绑扎、模板安装及混凝土浇筑的施工。

在劲性钢结构梁底模板上布设工字钢支撑件，形成新的梁底支撑方法，支撑安全可靠。

传统支撑钢管架顶托钢梁，造成横担钢管被浇筑在混凝土里而后截取影响结构梁实体及观感质量，采用型钢梁底模板上布设工字钢支撑件，可直接浇筑在梁里，无须二次处理。工字钢支撑件刚度足够并能将荷载传递到模板，有效的控制型钢梁挠度及钢筋保护层厚度。型钢支撑与梁底模板支架结合，不用另外搭设钢梁支架，工艺简单，施工便捷。



型钢梁底支撑剖面示意图

四、主要施工流程及要点

(一) 主要工艺流程

支梁底模—布设工字钢—吊装型钢梁—(钢筋绑扎—合侧模—砼浇筑) 监测变形值—验收

(二) 施工要点

4.2.1 确定支撑件工字钢规格型号、长度、间距

工字钢高度 $H = \text{型钢梁底距底模 } 150\text{mm} - \text{模板起拱值} (36800\text{mm} \times 2\% = 73.6\text{mm}) + \text{型钢梁起拱值} (L/600 = 61.33\text{mm}) = 134.93\text{mm}$, 通过对照标准规格选取 $140 \times 80 \times 5.5$ 的工字钢。

计算得出采用工字钢型号 $140 \times 80 \times 5.5$, 间距 0.9m , 长度 0.1m 的构件支撑型钢梁即可满足布设要求。

4.2.2 搭设梁底支撑

编制专项施工方案并计算支撑荷载, 如需专家论证按要求进行。根据结构形式, 确定好主次梁位置, 搭设梁两侧立杆, 立杆下部通长加设 $\geq 50\text{mm}$ 厚木垫板。立杆底距地面 200mm 高处沿纵横向水平方向应按纵下横上设扫地杆。梁底起拱通过可调 U 托进行, 确保起拱精度。

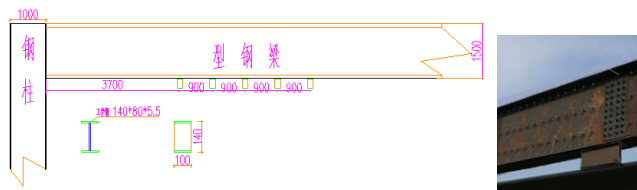
剪刀撑由底至顶连续设置; 中间在纵横向应每隔 4 跨 (不大于 5m) 左右设由下至上的竖向连续式剪刀撑; 水平剪刀撑应在架体底部、顶部及架体中部设置 3 道连续水平剪刀撑。水平剪刀撑宜在竖向剪刀撑斜杆相交平面设置。

4.2.3 铺设梁底模板

依据标高控制线确定梁底标高。梁底起拱通过可调 U 托进行, 按设计及规范要求严格控制起拱精确度。

4.2.4 间断布设工字钢支撑

确定工字钢支撑件规格型号: 根据梁截面尺寸及型钢梁底与模板净距做为工字钢支撑件高度, 选择相应规格型号。工字钢支撑件沿轴线放线长度不大于箍筋间距。自柱两端边缘 3.7m 将型号 $140 \times 80 \times 5.5$ 的工字钢支撑件 0.9m 间距布设于梁底模板上, 箍筋绑扎避开工字钢布设位置 (工字钢腹板沿型钢梁方向, 工字钢下翼缘板刷防锈漆), 并将工字钢点焊固定在型钢梁上。



工字钢布设图

计算工字钢支撑件布设间距及长度: 通过荷载计算确定工字钢支撑件布设起止位置、间距、长度。布设工字钢支撑件: 在梁底模板上对工字钢支撑件进行定位放线, 按轴线沿梁跨度方向间断性布设, 并将工字钢支撑件用火烧丝或钢钉固定在模板上。

4.2.5 吊装型钢梁

编制吊装专项方案。吊车选用根据现场条件、起重能力及吊臂长度来选择吊车规格型号。

钢梁吊装: 钢梁的吊点设置在梁的三等分点处, 在吊点处

设置耳板, 待钢梁吊装就位完成后割除。为防止吊耳起吊时的变形, 采用专用吊具装卡, 此吊具用普通螺栓与耳板连接。吊装过程严格控制轴线及标高, 吊装到位后进行校正、检查、初拧、终拧高强螺栓, 扭矩符合规范要求。

4.2.6 钢筋绑扎合梁侧模

在钢梁吊装前将梁箍筋套入梁上并根据工字钢支撑件位置及箍筋间距定位箍筋位置。钢梁吊装完毕后, 安装梁上下纵向钢筋, 下铁直接穿入箍筋内, 上铁钢筋在框架梁跨度范围内设置临时支撑, 防止上铁钢筋下挠, 影响箍筋绑扎。双排钢筋采用垫块来控制净距以符合规范要求。梁模板的叠放次序为梁侧模包底模, 侧模底部坐落在横楞上。根据梁高设置对拉螺杆, 对拉螺杆截断分别焊接在腹板两侧。距梁底模板 150mm 处 2m 间距开设 30mm 圆形观察孔, 观察孔处嵌填硬质透明塑料板便于观察混凝土浇筑过程中确保振捣密实。

4.2.7 混凝土浇筑

混凝土浇筑顺序为先浇筑框架柱头混凝土再浇筑梁、板混凝土。梁柱节点核心区混凝土强度等级与梁、板不同时, 应分别按相应等级浇筑并设置快易收口网。如型钢梁配筋过度密集、钢梁上下翼缘板阻碍混凝土浇筑, 宜采用自密实混凝土浇筑以确保密实度。混凝土浇筑时设专人看模, 全程监测挠度变化, 当发生模板变形、移位及型钢梁挠度变化较大时立即停止浇筑, 果断采取控制措施, 并在已浇筑的混凝土凝结前修整完好。

4.2.8 全程挠度监测变形

型钢梁应进行预起拱, 安装完成后梁上水平面应满足保护层厚度要求。钢梁安装完成后挠度 $\leq L/400$ 并满足下部钢筋保护层厚度要求。型钢梁安装挠度监测: 在钢梁中部顶点处固定钢筋棍并高于框架梁顶面标高 200mm 便于测定数据, 在钢梁安装完成后及时监测钢梁挠度, 测定钢梁中部顶点标高。钢筋绑扎过程挠度监测: 钢筋绑扎完成 50% 、 100% 由专职测量员分别监测两次数据, 对比钢梁中部顶点已测定的标高数据, 当下挠过大时及时分析数据并采取控制措施。混凝土浇筑过程挠度监测: 混凝土完成 50% 、 100% 有专职测量员分别监测两次数据, 对比钢梁中部顶点已测定的标高数据, 当下挠过大时及时分析数据并采取控制措施。

五、主要控制要求及措施

1. 工字钢支撑件、钢筋、模板等原材料必须有厂家合格证、检测报告等相关资料, 有复试要求的材料提前做试验, 试验报告合格后方可用于工程中。

2. 支撑体系严格按施工方案执行, 立杆应采用对接接头 (严禁采用搭接), 且接头位置不应设置在同步内, 同步内隔一根立杆的两个相隔接头在高度方向错开的距离不宜小于 500mm 。钢管立杆垂直度偏差不得大于架高的 $1/300$, 且控制在 50mm 以内。

3. 可调支托底部的立柱顶端应沿纵横向设置一道水平拉杆。

4. 剪刀撑宽度应为 4 跨。剪刀撑杆件的底端应与地面顶紧, 夹角宜为 $45^\circ - 60^\circ$, 剪刀撑的接长采用搭接接长, 剪刀撑的斜杆应用旋转扣件固定在与之相交的横向水平杆伸出端或立杆上, 旋转扣件的中心点至主节点的距离不宜大于 150mm 。

5. 抗滑扣件间应顶紧, 安装完毕应由专职安全、技术人员进行复核验收。

6. 对于高支撑模板支撑架体, 在临空一侧采用满挂立网。水平兜网随周边非高支模区域结构楼层每层铺设, 并在高支模作业面下方张拉一层水平兜网。

7. 梁底模板铺设完成后布设工字钢支撑件, 采取绑扎丝或钢钉固定, 确保牢固可靠, 定位准确。

8. 型钢梁在生产车间加工时严格控制起拱及直线度, 预起拱 $L/600$, 直线度允许偏差 $L/1000$, 且 $\leq 8\text{mm}$, 采取拉线法检测预起拱及直线度。

9. 吊装钢梁前测放梁轴线并在梁端合适位置标识轴线, 确保

(下转第 85 页)

对标准化的零件的制作以及对于位置的确定,按照规定的标准、尺寸、型号等内容做好零件与图纸设计的匹配。在土建工程建设中,要做好电力系统设计工作,及时的将电工工程与土建工程进行结合,确保建筑工程当中的电力使用。在工作当中应当结合排水管道的设计,做好防水套管的预埋盒管理工作,严格的对管道的套管进行设计,做好对尺寸、规格、材质等多项内容的规划。

(二) 技术管理

工程设计当中要综合工程建设的进度以及实际状况做好前期的准备工作,对结合预埋管线、空洞等内容做好综合化准备。在土建工作当中结合底板的安装,综合底板安装工作中进行预埋作品的设计,综合工程建设当中的材料进行电线、电缆、线管、剪切墙等进行综合化的预埋设计,做好防雷底线、构件焊接等内容的设计。在管线预埋过程中要做好综合设计,在楼板当中设置钢筋网络进行铺设,在分层预埋当中尽量选择在第一层钢筋网预埋,第二层钢筋网编扎完成之前开始。在墙体建设当中要在墙壁内部做好管线的铺设,做好终端线盒的定位以及安装工作,避免在后期工作当中出现线盒尺寸以及位置无法修改的状况。

(三) 设备管理

建筑施工过程中会用到很多的建筑设备,但是由于在使用过程中设备会造成一定的损坏,因此施工部门应该完善设备的维护机制,加大对设备系统维护的资金投入。成立一个专业维修设备系统的部门,定期对设备系统进行检修,完成日常维修的工作。避免设备出现障碍,造成瘫痪。除了日常系统维护之外还要

做到定期更换设备,各种装备设施都有一定的使用寿命,况且有部分零部件常年暴露于野外,长期的风吹日晒会对监测系统部件造成腐蚀。进一步加快零部件的老化现象,降低设备的各项性能,给施工工作带来巨大的困难。除定期更换系统设备之外,还要定期对维修人员进行技术培新。施工设备维修人员的技术要求很高,需要维修技术人员定期进行培训指导,熟悉系统常出的故障,做到第一时间修缮故障,恢复设备运营。除此之外,加大在设备购进上的资金投入。设备的安全问题不能忽视,应该定期优化设备,淘汰落后的设备,从而提高设备性能,提高施工安全系数。

四、结束语

在大力发展建筑行业的同时,还要注重建筑物的安全性能与建筑行业的管理水平,提高建筑行业的整体的专业素质,完善相关法律法规,只有这样中国的建筑行业才能健康发展。

参考文献

[1]何攀,成跃刚.浅析当前建筑工地管理中存在的主要问题及对策[J].建筑·建材·装饰,2017,000(011):7-8.
 [2]金凤清.浅谈建筑施工现场管理中存在问题及管理措施[J].科学技术创新,2014(3):179-179.
 [3]汪鸣.浅谈建筑施工现场管理中存在问题及管理措施[J].城市建设理论研究(电子版),2017(29):60+62.
 [4]文林柱.浅析建筑施工现场安全管理存在的问题及对策[J].企业科技与发展,2017(4):157-159.

(上接第82页)

梁轴线准确无误。

10. 钢梁吊装后不得在其上堆放材料,避免由此造成型钢梁下挠。
11. 模板支设用对拉螺栓断开分别焊接于腹板两侧,确保焊缝饱满无质量缺陷,螺栓紧固到位。模板起拱标高根据控制线严格把控,确保起拱精度。
12. 钢筋绑扎确保钢筋净距符合要求,避免造成混凝土浇筑困难。
13. 梁板应同时浇筑,浇筑方法应先将梁根据高度分层浇捣成阶梯形,从跨中向两端对称进行分层浇筑,每层厚度不得大于400mm。

结论:与传统劲性钢结构梁施工方法相比较,采用工字钢支撑点式布设于梁底的支撑方式支撑稳定性好并且巧妙解决了挠度控制的难题,提高了施工效率。通过此工艺的改变,避免了传统支撑方法的钢管被浇筑在梁里而后截断钢管及补洞的问题,避免了补洞造成混凝土结构实体的影响,降低了施工人员高空作业的安全风险,从而减少了周转材料的租赁费、损耗费用及人工成本,提高了工程质量。因此在缩短工期、提高质量、降低成本、安全可靠、节能环保等方面具有显著效果。了解最新的管理知识

和技能,加强创新意识,努力完善质量管理,提高质量管理水平,使企业具有核心竞争力,在市场中得到良好的发展,为我国的建筑工程行业作出一定积极的贡献。

参考文献

[1]丰艳琴,刘家甫,马纯权,等.斜钢管柱内混凝土浇筑技术[J].施工技术,2011,2014,43(14):162-164.
 [2]杨玉军,王自名.西安咸阳国际机场T3A航站楼大直径钢管柱自密实混凝土施工技术[J].施工技术,2012,41(10):8-9.
 [3]李龙海,武雄飞.成都国金中心劲性钢管柱综合施工技术[C]//第四届全国钢结构工程技术交流论文集.2012.
 [4]侯兆欣,张海军,季小莲,等.新加坡MEGA会展中心大跨度钢结构施工技术[J].施工技术,2000,29(8):15-17.
 [5]吴欣之.现代建筑钢结构安装技术[M].北京:中国电力出版社,2009.
 [6]冶金工业部建筑研究总院.GB50205-2001钢结构工程施工质量验收规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2002.
 [7]中国钢结构协会.建筑钢结构施工手册[M].北京:中国计划出版社,2002.